



美浜・大飯・高浜発電所の最近の状況について

2024年 1月24日

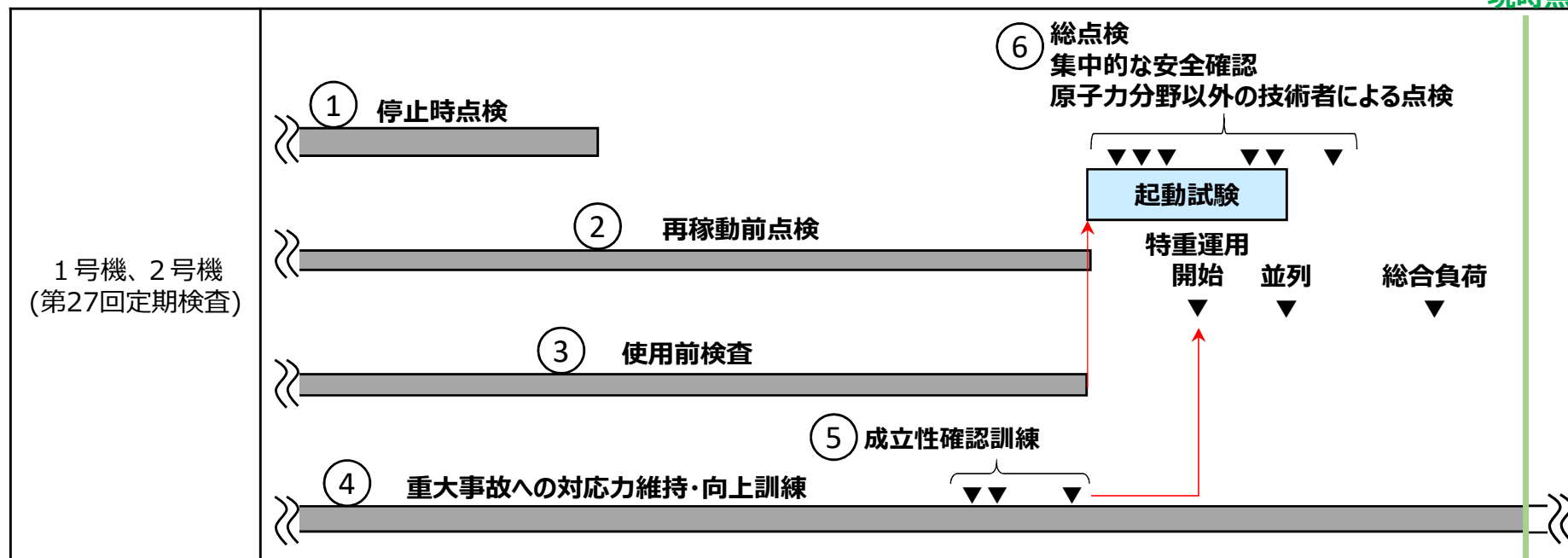
関西電力株式会社

プラントの運転・定期検査の状況

| 発電所 | ~2021年度 | 2022年度 | 2023年度 | 現時点 | 2024年度 |
|-----------|---|--|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 美浜 3号機 | ▼6/29並列 第25回定期検査 ▼10/23解列 第26回定期検査 ★10/25特重設置期限 ▼7/28特重運用開始 | ▼9/1並列 第27回定期検査 ★8/24特重設置期限 ▼12/8特重運用開始 | ▼10/25解列 第27回定期検査 | ▼1/20並列 | 3月 第28回定期検査 |
| 大飯 3号機 | ▼7/5並列 第18回定期検査 | ▼8/23解列 第19回定期検査 ★8/24特重設置期限 ▼12/8特重運用開始 | | 2月 第20回定期検査 | 4月 第20回定期検査 |
| 大飯 4号機 | | ▼3/11解列 第18回定期検査 ★8/24特重設置期限 ▼8/10特重運用開始 | ▼7/17並列 第19回定期検査 | ▼8/31解列 第19回定期検査 ▼10/27並列 | 12月 第20回定期検査 2月 |
| 高浜 1号機 | ▼2011/1/10解列 第27回定期検査 ★6/9特重設置期限 | | ▼8/2並列 第27回定期検査 ▼7/14特重運用開始 | | 4月 第28回定期検査 7月 |
| 高浜 2号機 | ▼2011/11/25解列 ▼2022.1安全性向上対策工事完了 第27回定期検査 ★6/9特重設置期限 | | ▼9/20並列 第27回定期検査 ▼8/31特重運用開始 | | 9月 第28回定期検査 11月 |
| 高浜 3号機 | | ▼3/1解列 第25回定期検査 ▼7/26並列 | ▼9/18解列 第26回定期検査 | 12/25並列 第26回定期検査 | 1月 未定 第27回定期検査 |
| 高浜 4号機 | ▼4/15並列 第23回定期検査 | 6/8解列 ▼ 11/6並列 ▼ 第24回定期検査 | ▼1/30原子炉自動停止 ▼3/25並列 | 12/16解列 ▼ 第25回定期検査 | 4月 第25回定期検査 ※定期検査：解列~並列 ▼：実績 ▽：予定 |

再稼動に係る対応について

現時点



- ①停止時点検 : 長期停止中においても運転状態にある設備の健全性を確保するために、保全指針に応じて、自主的に実施している点検 例) 非常用ディーゼル発電機点検 **[7回/ユニット(13ヶ月毎)]**
- ②再稼動前点検 : 長期停止中に機能要求がなかった設備の再稼動前における健全性確認のための点検
例) 2次系設備(タービン及び復水器等)のポンプ点検 **[1号機:約7ヶ月/2号機:約9ヶ月]**
- ③使用前検査 : 発電用原子炉施設の工事計画の認可を決定した原子力施設(新設・増設・改造)について、原子力規制庁の検査官が、その工事計画との適合性、技術基準との適合性を確認 **[約100項目/ユニット]**
- ④重大事故への対応力維持・向上訓練 : 指揮者や運転員など、それぞれの役割に応じた、必要な教育や訓練
例) 電源喪失した場合の運転操作訓練、原子炉に冷却水を注入するためのポンプの設置訓練、電源供給訓練
- ⑤成立性確認訓練 : 事故収束対応について、手順書のとおり適切に実施できることを時間的な成立性も含めて確認
- ⑥総点検 集中的な安全確認 : 原子炉冷却材系統の水張時等、系統の状態を大きく変えるような節目のタイミングで集中的に現場のパトロールを実施。当社社員やメーカー、協力会社社員の他、新たな視点を取り入れる観点から、過去のトラブル等の知見を多く持つ当社OBを加えて実施 **[6回/ユニット]**
- 原子力分野以外の技術者による点検 : 日頃から原子力発電所に従事している者とは異なる視点やノウハウを取り入れて、不具合や異常の兆候を見つけることを目的として実施

①停止時点検、②再稼動前点検を実施及び③使用前検査等の各種検査を実施

【①停止時点検】

非常用ディーゼル発電機の
シリンダカバー開放点検



【②再稼動前点検】

工場保管していた循環水ポンプの
据付け作業



【②再稼動前点検】

余熱除去クーラ開放点検
(水室側ガスケット取替作業)



【③使用前検査】

スプレイヘッド 機能性能検査
(使用済燃料ピット漏えい対応)



【③使用前検査】

静的触媒式水素再結合装置
機能性能検査



④重大事故への対応力維持・向上訓練を継続して実施

- A. 指揮者（事故時に指揮者となる所長、原子力安全統括、副所長、運営統括長他が対象）
- ・知識ベースの教育（事故対策への習熟）
研修会、自学自習用の資料の整備、専門家による講義、研修ツールを用いた学習 など
 - ・実践的な訓練（対応能力向上）
訓練シナリオを参加者に事前に通知せず、実動を含む原子力防災訓練 など
- B. 運転員
- ・シミュレータ訓練の内容に、長時間の全交流電源喪失を追加想定した訓練 など
- C. 緊急安全対策要員
- ・協力会社社員を含め、電源供給、給水活動等の手順の教育、現場での実動訓練 など



A. 重大事故等発生を想定した訓練

B. 電源喪失した場合の
運転操作訓練C. 防護服を着用した悪条件下を
想定した訓練

| | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|-------------------|---------|---------|---------|
| 教育・講習受講者人数 (延べ人数) | 約2,300人 | 約2,100人 | 約2,200人 |
| 訓練回数 | 約2,100回 | 約3,900回 | 約2,800回 |

⑤成立性確認訓練として、1, 2号機特重施設の運用開始に向けた訓練を実施

- 原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズム（以下「APC※等」という。）時の訓練として、あらかじめ定められた手順書に従い想定時間内に確実に対応できることを確認
- 大規模損壊訓練に関しては、緊急時対策所本部と1, 2号機及び3, 4号機の特重施設を連携させて対応し、事故収束に問題がないことを確認

※APC : AirPlane Crash

| 訓練名称 | 実施日 | 関係者数 |
|---------|----------|---------------|
| APC等訓練 | 4月18日 | 当社10名、協力会社2名 |
| 大規模損壊訓練 | 4月19日 | 当社25名、協力会社13名 |
| シーケンス訓練 | 6月14・15日 | 当社53名、協力会社28名 |

APC等訓練 : APC等により発生する厳しい事故シナリオに対して、特重施設要員が適切な手順書に従い、想定時間内に対応を実施できることを確認する訓練

大規模損壊訓練 : APC等により原子炉施設に大規模な損壊が生じた場合における、プラント状況の把握、情報収集、的確な対応操作の選択ならびに指揮者等、特重施設要員および消火活動要員の連携を含めた実効性等を確認する訓練

シーケンス訓練 : シビアアクシデントに至るおそれがある事故シナリオに対して、緊急安全対策要員等が適切な手順書に従い、想定時間内に役割に応じた対応を実施できることを確認する訓練



緊急時制御室での操作
(APC等訓練)

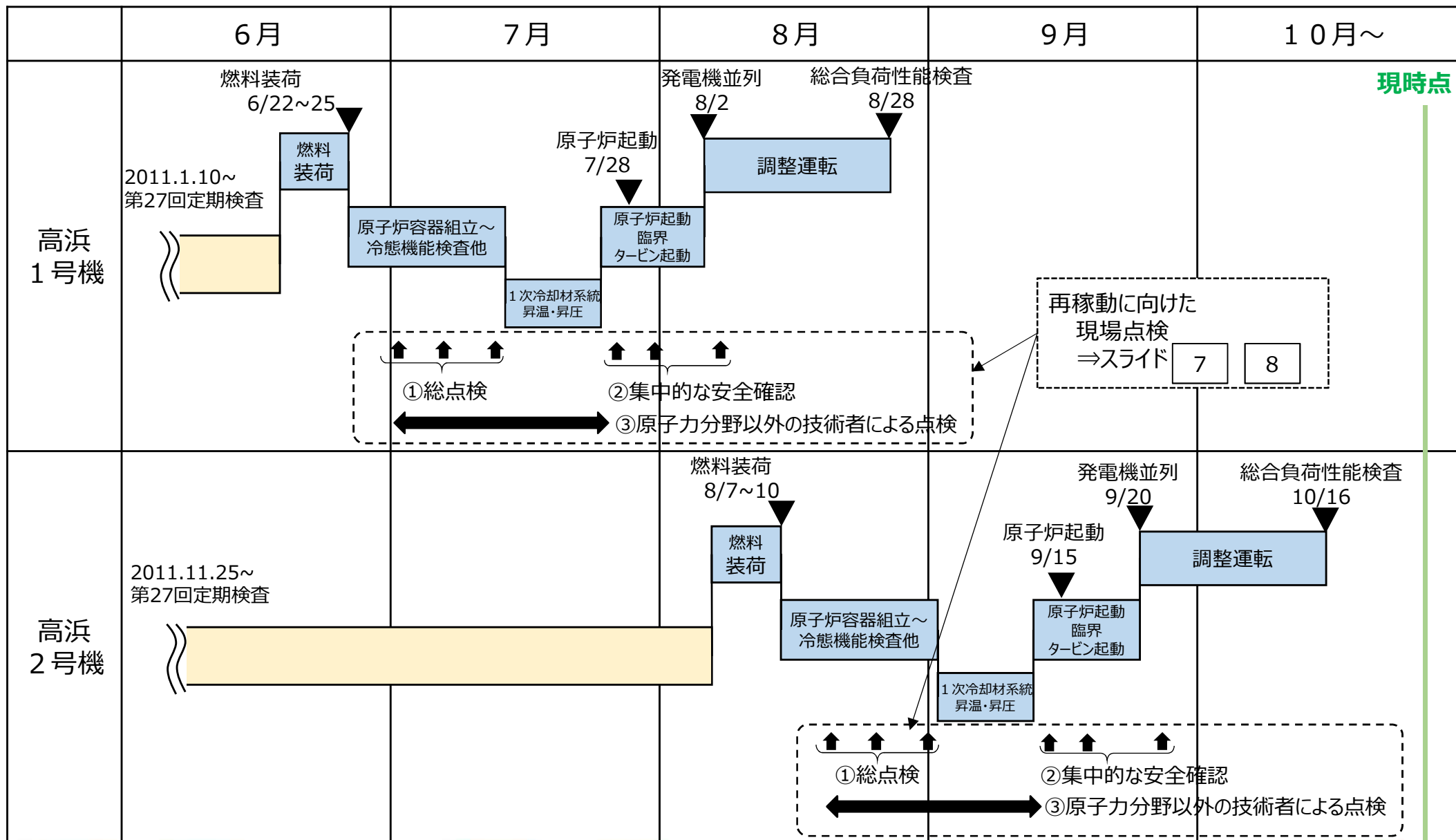


大規模な航空機燃料火災を想定した化学消防車による消火活動
(大規模損壊訓練)





大容量ポンプへのホース接続
(シーケンス訓練)



⑥美浜 3号機再稼動時と同様に総点検・集中的な安全確認を実施するとともに新たに原子力分野以外の技術者による点検を実施



①総点検



| | | |
|------|---|---|
| 目的 | 長期間停止していた状況を踏まえ、自ら保守担当してきた設備に対し、現場点検を実施 | (点検状況)   |
| 実施時期 | 1次冷却材系統の昇温・昇圧前までに3回実施 | |
| 体制 | 1号機 延べ約360名 2号機 延べ約340名 メーカー、協力会社、当社社員、当社OB | |

②集中的な安全確認

| | | |
|------|---|---|
| 目的 | トラブルの未然防止の観点から、再稼動工程上の重要なポイントで現場の確認を実施 | (点検状況)   |
| 実施時期 | 原子炉起動前と並列前後の3回実施 | |
| 体制 | 1号機 延べ約400名 2号機 延べ約400名 メーカー、協力会社、当社社員、当社OB | |

サーモグラフィによる点検

③原子力分野以外の技術者による点検

| | | | | |
|-------------|--|-----------------------------|---|--|
| <p>目的</p> | <p>総点検、集中的な安全確認に加え、日頃から原子力発電所に従事している者とは異なる視点やノウハウを取り入れて、不具合や異常の兆候を見つけることを目的として実施</p> | | <p>(火力分野の点検状況)</p>  | |
| <p>実施時期</p> | <p>原子炉容器組立完了後から原子炉起動までに実施</p> | | | |
| <p>体制</p> | <p>1号機 延べ約110名 2号機 延べ約70名</p> | | <p>(水力分野の点検状況)</p>  | |
| | <p>分野</p> | <p>点検範囲</p> | | |
| | <p>送配電</p> | <p>発電所電気設備</p> | | |
| | <p>石油化学</p> | <p>化学薬品取扱設備</p> | | |
| | <p>火力</p> | <p>蒸気、給水系統</p> | | |
| | <p>水力</p> | <p>土木構造物</p> | | |
| | <p>鉄鋼産業</p> | <p>非破壊診断技術を用いたポンプ等の運転状態</p> | | |

<他分野からの講評>

発電所内の設備は現場の清浄度を含めて適切に維持管理されており、技術的に十分な水準の保全が行われているとの講評を頂いた。

- ・六ヶ所再処理工場の2024年度上期の出来るだけ早い時期の竣工に向け、関西電力を中心に、審査・検査に対応する人材を更に確保
- ・2025年度から再処理開始、2026年度から使用済燃料受入れ開始。再処理工場への関西電力の使用済燃料の搬出にあたり、必要量を確保し搬出するよう取り組む
- ・使用済MOX燃料の再処理実証研究のため、2027年度から2029年度にかけて高浜発電所の使用済燃料約200tを仏国オラノ社に搬出さらに実証研究の進捗・状況に応じ、仏国への搬出量の積み増しを検討
- ・中間貯蔵施設の他地点を確保し、2030年頃に操業開始
- ・中間貯蔵施設の操業を開始する2030年頃までの間、六ヶ所再処理工場および仏国オラノ社への搬出により、使用済燃料の貯蔵量の増加を抑制
- ・あらゆる可能性を組み合わせる必要な搬出容量を確保し、着実に発電所が継続して運転できるよう、環境を整備する
- ・本ロードマップの実効性を担保するため、今後、原則として貯蔵容量を増加させない
- ・使用済燃料の中間貯蔵施設へのより円滑な搬出、さらに搬出までの間、電源を使用せずに安全性の高い方式で保管できるよう、発電所からの将来の搬出に備えて発電所構内に乾式貯蔵施設の設置を検討



- 当社は、使用済燃料対策推進計画に基づき、中間貯蔵施設の操業に向けた取組み等を展開
- 7基体制の確立の後、2030年頃の中間貯蔵施設の操業に向けて、使用済燃料対策推進計画を補完する指針として、使用済燃料対策ロードマップを策定
- 使用済燃料対策ロードマップの取組みを適切に管理するため、当社は、取組みの進捗状況を随時確認
- 使用済燃料対策ロードマップは、今後の取組みの進捗状況の確認結果等に応じて、適宜見直し、改善を実施

【使用済燃料対策ロードマップの記載事項】

- ✓ 六ヶ所再処理工場への使用済燃料の搬出
- ✓ 使用済MOX燃料再処理実証研究に伴う仏国オラノ社への使用済燃料の搬出
- ✓ 中間貯蔵施設の2030年頃の操業開始、操業に向けた準備

【取組みのフォローアップ】

- ✓ 当社は、取組みの進捗状況を随時確認し、必要に応じ、ロードマップを見直す

至近のトラブル情報等一覧

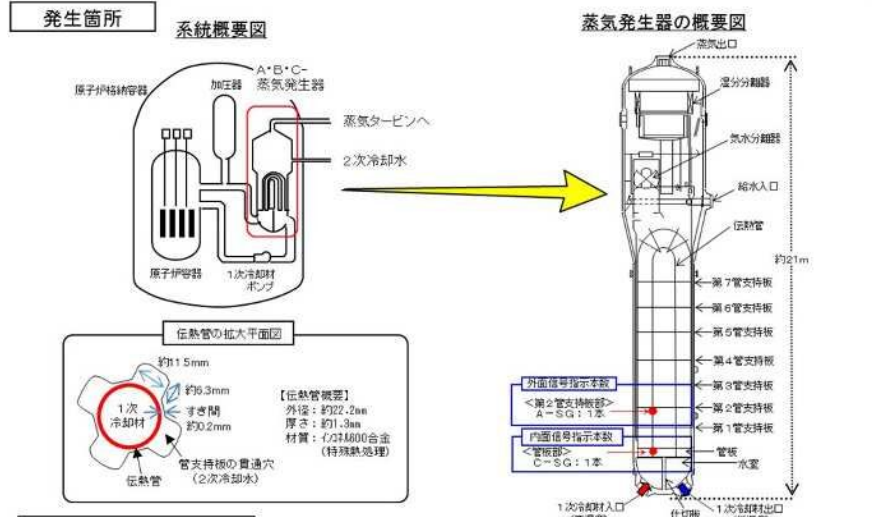
- 令和5年度第1回情報交換会（令和5年5月23日）以降に発生したトラブル情報等は6件。
- それぞれについて原因を調査し、必要な対策を実施している。

| 発生年月日 | 発電所 | 件名 | 法令対象 |
|------------|-------|--|------|
| 2023.5.29 | 高浜4号機 | 高浜発電所4号機の復水器への海水混入について | — |
| 2023.8.15 | 高浜1号機 | 高浜発電所1号機の運転上の制限の逸脱について (格納容器内高レンジエリアモニタCH4故障警報発信) | — |
| 2023.10.17 | 高浜3号機 | 高浜発電所3号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管損傷) | ○ |
| 2023.11.6 | 美浜3号機 | 美浜発電所3号機の運転上の制限の逸脱について (美浜発電所3号機予備変圧器しゃ断器の自動開放) | — |
| 2023.12.18 | 美浜3号機 | 美浜発電所3号機の運転上の制限の逸脱について (美浜発電所3号機非常用ディーゼル発電機A燃料油移送ポンプの運転上の制限の逸脱) | — |
| 2023.12.23 | 美浜3号機 | 美浜発電所3号機の運転上の制限の逸脱について (美浜発電所3号機予備変圧器しゃ断器の自動開放) | — |

12 ~ 15

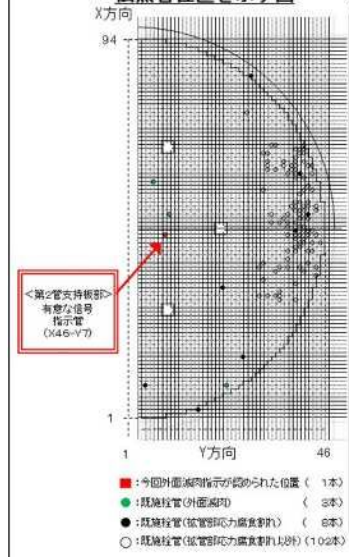
2023.11.9 「高浜発電所3号機の定期検査状況について」にてお知らせ

外面からの信号指示が認められた伝熱管の調査

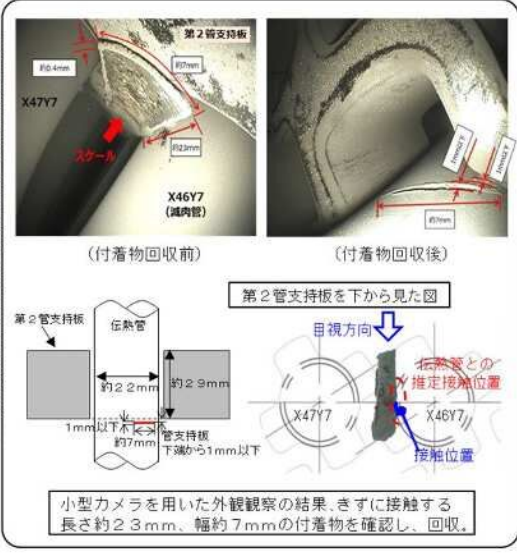


A-蒸気発生器の調査

A-蒸気発生器 (高温側) 上部から見た伝熱管位置を示す図



小型カメラによる外観観察結果



回収した付着物の詳細調査

付着物の分析結果

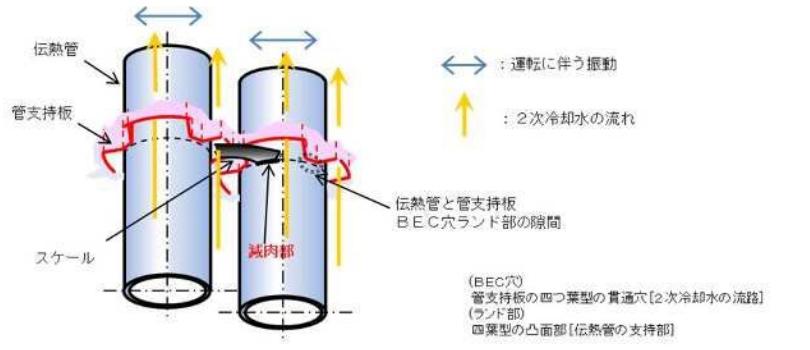
付着物は過去から認められているスケールと同様に黒い色調であることを確認。また、伝熱管の外径に近い円筒状に沿った形状であり、伝熱管との接触部に接触痕および伝熱管の成分であるニッケルおよびクロムを確認。これらのことから、付着物は伝熱管表面に生成されたスケールと断定。



大きさ：約2.3mm×約7mm
 厚さ：約0.4mm
 質量：約0.2g

管支持板下面での減肉のメカニズム

過去の原因調査の中で、工場再現試験等を実施した結果、SG路内の2次冷却水の上昇流により、スケールの形状によっては管支持板下面に押し付けられその場に留まり、伝熱管がプラント運転に伴う振動でスケールと繰り返し接触し、摩耗減肉が発生することを確認。



2023.11.9 「高浜発電所3号機の定期検査状況について」にてお知らせ

これまでに実施した蒸気発生器器内の薬品洗浄による効果の調査

薬品洗浄の概要

蒸気発生器器内の伝熱管群部分をエチレンジアミン四酢酸溶液で浸し、スケールの主成分である鉄分を溶出させることで器内に存在するスケールの脆弱化を図るもの。

<高浜発電所3号機 薬品洗浄実績>

| | | 前々回の定期検査 (第24回) | 前回の定期検査 (第25回) |
|------|-----|---------------------------|-------------------------|
| 洗浄条件 | 1回目 | 薬液濃度: 3% 洗浄範囲: 第3支持板以下 | 薬液濃度: 3% 洗浄範囲: 伝熱管全体 |
| | 2回目 | 薬液濃度: 2% 洗浄範囲: 伝熱管全体 | 薬液濃度: 3% 洗浄範囲: 伝熱管全体 |

薬品洗浄効果(スケールの脆弱化傾向)

(1) 薬品洗浄による鉄分除去量

これまでに実施した薬品洗浄により、合計約1,980kgの鉄分を除去できたことを確認。

<高浜発電所3号機 鉄分除去量>

| | | 前々回の定期検査 (第24回) | 前回の定期検査 (第25回) |
|----------------------|--|-----------------|----------------|
| 蒸気発生器 1台あたりの鉄分除去量 | | 約670kg | 約1,310kg |

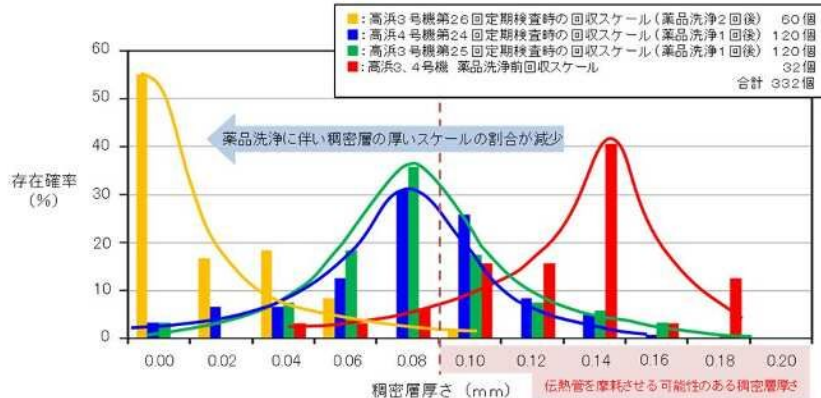
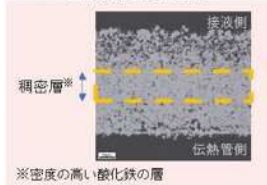
(2) スケールの脆弱化傾向

蒸気発生器器内から回収したスケールの断面を観察し、薬品洗浄実施前と実施後の稠密層厚さの分布に差を調査。

前々回の定期検査(第24回)から今回の定期検査(第26回)までのスケールの稠密層厚さを比較した結果、洗浄実施に伴い稠密層が薄くなる傾向を確認。

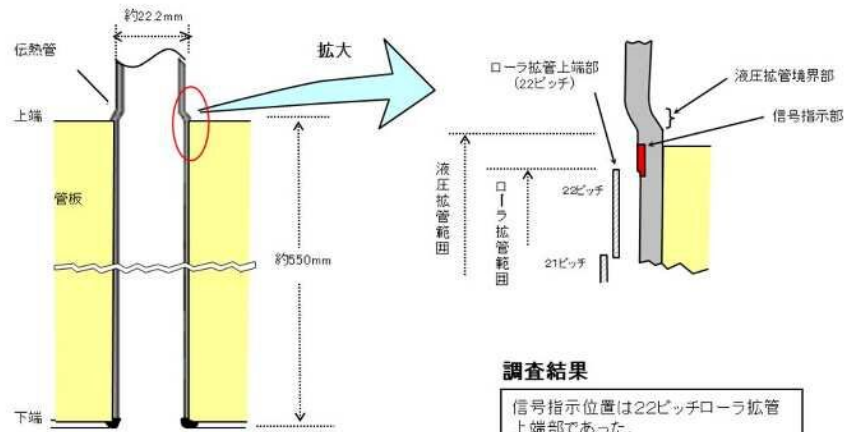
また、伝熱管を摩耗させる可能性のある稠密層厚さ0.1mm以上のスケールの割合も大きく減少しており、薬品洗浄による脆弱化効果が得られていると評価。

<断面観察結果の例>

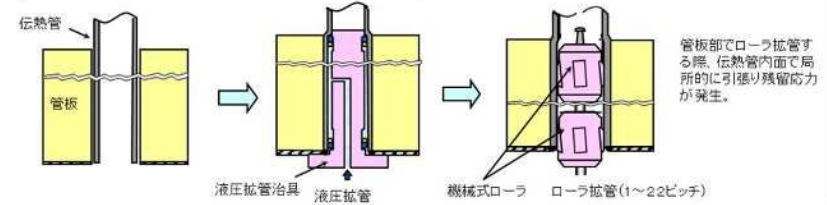


内面からの信号指示が認められた伝熱管の調査

信号指示の位置



蒸気発生器製造時の管板部の伝熱管拡管方法



運転実績の調査

1次冷却材の主要パラメータである温度、圧力、水質を調査した結果、前回定期検査(第25回)終了以降の運転実績の中で、過大な応力を発生させる温度、圧力の変化はなく、水質も基準値の範囲内で安定していたことを確認。

原因は、蒸気発生器製造時に伝熱管内面のローラ拡管の際に生じた引張り残留応力と運転時の内圧および温度環境が相まって生じる応力腐食割れ(既往知見)であると推定。

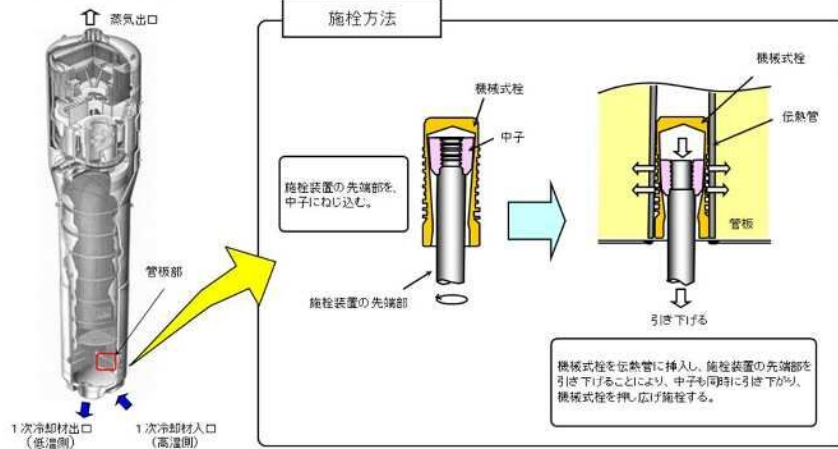
2023.11.9 「高浜発電所3号機の定期検査状況について」にてお知らせ

伝熱管の施栓方法と施栓状況

蒸気発生器伝熱管の施栓方法

きすが認められた伝熱管2本については、高温側および低温側管板部に施栓し、使用しないこととする。

蒸気発生器の概要図



高浜発電所3号機の蒸気発生器伝熱管の施栓状況

| | A蒸気発生器 (3,382本) | B蒸気発生器 (3,382本) | C蒸気発生器 (3,382本) | 合計 (10,146本) |
|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 検査対象本数 | 3,269 | 3,246 | 3,261 | 9,776 |
| 今回施栓予定 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 累積施栓本数 (応力腐食割れによる施栓本数) (外面減肉による施栓本数) [施栓率] | 114 (8) (4) [3.4%] | 136 (10) (2) [4.0%] | 122 (8) (1) [3.6%] | 372 (26) (7) [3.7%] |

○蒸気発生器1台あたりの伝熱管本数:3,382本
○安全解析施栓率は10%
(伝熱管の施栓率が10%の状態において、プラントの安全性に問題がないことを確認している)

小型高圧洗浄装置による洗浄(スケール等の回収)の強化

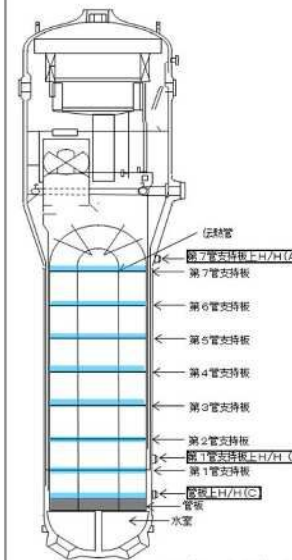
STEP1: 第7~第3管支持板の洗浄

第7管支持板上ハンドホール(A)から装置を挿入し、高圧水を噴射することにより、上層の第7管支持板上から順に第3管支持板上までのスケール等を下層の管支持板へ落下させる。
第3から第6管支持板用の噴射ノズルを改良し、噴射範囲の拡大および水の流量(水圧)を増加させ、洗浄を強化させる。



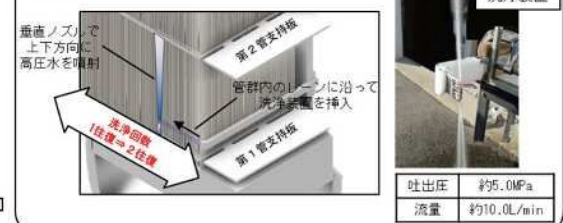
| | 改良前 | 改良後 |
|-----|-----------|-----------|
| 吐出圧 | 約2.0MPa | 約5.0MPa |
| 流量 | 約3.9L/min | 約7.3L/min |

洗浄箇所:
(管板・第1管支持板から第7管支持板上)



STEP2-1: 第2, 第1管支持板の洗浄(垂直ノズルによる洗浄)

第1管支持板上ハンドホール(B)から装置を挿入し、上下方向に高圧水を噴射することで、管支持板と伝熱管との隙間を洗浄し、スケール等を管支持板上へ移動させる。
管群内の各レーンに清掃装置を挿入し洗浄を行う際、レーン毎(総数93レーン)の洗浄回数を前回の1往復から2往復(1往復分追加)に増やすことで、洗浄を強化させる。



| | |
|-----|------------|
| 吐出圧 | 約5.0MPa |
| 流量 | 約10.0L/min |

STEP2-2: 第2, 第1管支持板の洗浄(水平ノズルによる洗浄)

STEP2-1により管支持板上に移動させたスケール等を押し流し、管板に落下させる。



STEP3: 管板上の洗浄

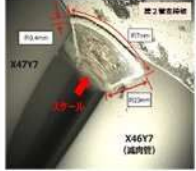
定期検査毎に実施している高圧水による管板上の洗浄により、管板上ハンドホール(C)からスケール等を回収する。

2023.11.9 「高浜発電所3号機の定期検査状況について」にてお知らせ

これまでの経緯(高浜発電所3、4号機における伝熱管外面の損傷事例)

これまでの経緯(高浜発電所3、4号機における伝熱管外面の損傷事例)

| 定期検査 | 伝熱管外面の損傷本数 | 調査結果概要 | スケールに対する対策 |
|----------------------------|--|---|------------|
| 3号機 第23回 (2018年8月～) | A-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) 【減肉率:20%未満】 | 減肉指示のあった箇所付近にスケールを確認。スケールの回収中に破損したため、スケール以外の異物による減肉と推定。異物は流出したものと推定。  | |
| 4号機 第22回 (2019年9月～) | A-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) B-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器:3本 (第2管支持板2本、 第3管支持板1本) 【最大減肉率:63%】 | A-蒸気発生器内にステンレス薄片を確認したが、摩耗痕が確認されなかったため、原因となった異物は前回の定期検査時に混入していたものと推定。なお、異物は流出したものと推定。 | — |
| 3号機 第24回 (2020年1月～) | B-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) 【最大減肉率:56%】 | AおよびC-蒸気発生器内にガスケットフープ材を確認。C-蒸気発生器伝熱管の損傷原因を異物と推定。B-蒸気発生器伝熱管の損傷原因となった異物は流出したものと推定。 | |
| 4号機 第23回 (2020年10月～) | A-蒸気発生器:1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器:3本 (第3管支持板) 【最大減肉率:36%】 | A-蒸気発生器の減肉箇所にスケールが残存。C-蒸気発生器の減肉箇所近傍から回収したスケール3個にも接触痕を確認し、原因は、スケールによる減肉と推定。  | 薬品洗浄を実施。 |

| 定期検査 | 伝熱管外面の損傷本数 | 調査結果概要 | スケールに対する対策 |
|---------------------------|--|--|---|
| 3号機 第25回 (2022年3月～) | A-蒸気発生器:2本 (第3管支持板1本、 第4管支持板1本) B-蒸気発生器:1本 (第2管支持板) 【最大減肉率:57%】 | 摩耗痕のあるスケールは回収できなかったが、各蒸気発生器から採取したスケールの性状、摩耗試験等の調査の結果、スケールによる減肉と推定。 | 薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施。 |
| 4号機 第24回 (2022年6月～) | A-蒸気発生器:5本 (第3管支持板2本、 第4管支持板3本) B-蒸気発生器:2本 (第3管支持板1本、 第4管支持板1本) C-蒸気発生器:5本 (第3管支持板3本、 第4管支持板2本) 【最大減肉率:49%】 | 小型カメラによる損傷箇所の調査に加え、蒸気発生器内のスケールの形状や性状および伝熱管の外観観察等の調査を実施した結果、スケールによる減肉と推定。 なお、A-蒸気発生器およびB-蒸気発生器から回収したスケール各1個に接触痕を確認。 | 薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施。 |
| 3号機 第26回 (今回) | A-蒸気発生器:1本 (第2管支持板1本) 【減肉率:63%】 | A-蒸気発生器の減肉箇所にスケール1個が付着。原因は、スケールによる減肉と推定。  | 小型高圧洗浄装置による洗浄を実施。 ・噴射ノズルを改良し、噴射範囲の拡大させるとともに、水の流量(水圧)を増強。 ・垂直ノズルを用いたレーン毎の洗浄回数を、前回の1往復から2往復に増強。 |

＜今後の対応＞

今後も毎定期検査時に蒸気発生器内のスケールを調査するとともに、長期的な信頼性を確保するという観点から、予防保全策として第28回定期検査において蒸気発生器の取替えを計画。